

绪 论

0.1 知 识 结 构

0.1.1 主要知识点

1. 电机及其分类

电机学中讨论的电机通常是狭义上的(定义见教材),即指利用电磁感应作用进行电能产生、传输、变换或使用的电气装置。

电机学中常用的电机分类方法有两种(参见教材)。

2. 电机学中常用的基本电磁定律

(1) 安培环路定律: $\oint_C \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \sum i$ (i 的符号根据右手螺旋定则确定)。

(2) 法拉第电磁感应定律: 当与线圈(或导体)相交链的磁链发生变化时,线圈中产生感应电动势,其大小与磁链的变化率成正比,其方向是企图在线圈中产生电流以阻止磁链的变化。

① 通用表达式: $e = -\frac{d\psi}{dt}$ (e 与 ψ 的参考方向满足右手螺旋定则时)。

② 运动电动势表达式: $e = Blv$ (B 、 l 、 v 方向互相垂直;用右手定则判断 e 的方向)。

(3) 电磁力定律: $F = Bli$ (B 、 l 、 i 方向互相垂直;用左手定则判断 F 的方向)。

3. 磁路定律

(1) 磁路及其构成: 磁路是磁通经过的闭合路径,产生磁通的原因是绕组通以电流而产生的磁动势。磁路通常由用铁磁材料制成的铁心和空气隙构成(有的磁路中没有空气隙),绕组通常用铜导线绕制而成。

(2) 磁路的基本物理量: 磁通密度 B (也称磁感应强度) (T), 磁场强度 H (A/m), 磁通 Φ (Wb), 磁动势 F (也称磁通势) (A), 磁导率 μ (H/m), 磁阻 R_m (H^{-1}) 或磁导 Λ (H)。

(3) 磁路的基本关系式

① 磁路的基尔霍夫第一定律: $\sum \Phi = 0$ (磁通连续性定律的简化表达式)。

② 磁路的基尔霍夫第二定律: $\sum Hl = \sum Ni$ (安培环路定律的简化表达式)。

③ 磁路欧姆定律: $\Phi = \frac{F}{R_m}$, 其中, $F = Hl$, $\Phi = BA$, $R_m = \frac{1}{\Lambda} = \frac{l}{\mu A}$, $B = \mu H$ 。

(3) 线圈中的感应电动势可以分为两类,即变压器电动势和运动电动势。运动电动势是由磁感应定律表达式在磁通不变而导体相对磁场运动时的特例,在 B 、 l 、 v 方向互相

垂直时可写为 $e = Blv$ ，其瞬时实际方向可用右手定则确定。

2. 磁路欧姆定律

磁路欧姆定律公式为 $\Phi = \frac{F}{R_m}$ 或 $\Phi = F\Lambda$ 。式中， Φ 是经过一段磁路的磁通； F 是作用在该磁路上的磁动势； R_m 、 Λ 分别是该磁路的磁阻和磁导，二者互为倒数，即 $R_m = \frac{1}{\Lambda} = \frac{l}{\mu A}$ 。其中， l 为磁路的平均长度， A 为磁路的截面积， μ 为磁导率。

应注意以下几点：

(1) 当磁通 Φ 在磁路各截面上均匀分布且垂直于截面时，由 Φ 和 A 可以求得磁路的平均磁通密度 B ，即 $B = \Phi/A$ 。当磁路平均长度上各处的磁场强度 H 都相等，磁导率为 μ 时，可由 B 求得磁场强度 H ，即 $H = B/\mu$ 。

(2) 对于铁心磁路，当 B 在磁化曲线的线性区域时，可认为其磁导率 $\mu = \text{常数}$ ，则磁路的磁阻 R_m 和磁导 Λ 均为常数；当 B 在磁化曲线的非线性区域，即磁路饱和时， μ 不是常数， R_m 和 Λ 也不是常数，它们都与磁路饱和程度即磁通密度 B 的大小有关。此时，只有在根据 B 值确定了 μ 值之后，才能求出 R_m 或 Λ ，从而利用磁路欧姆定律进行计算。

(3) 在电机学中，磁路欧姆定律主要用于对磁路的主要物理量的关系进行定性分析。定量计算时，由于铁心磁路有饱和现象，因此通常直接采用磁化曲线。

0.3 练习题解答

0-4-1 说明磁通、磁通密度(磁感应强度)、磁场强度、磁导率等物理量的定义、单位和相互关系。

答：定义、单位和相互关系参见教材 0.4 节。

0-4-2 写出图 0-1 中沿闭曲线 C 的安培环路定律表达式。

答：表达式为 $\oint_C \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \sum i = -i_1 + i_2 + i_5$ 。

0-4-3 变压器电动势和运动电动势产生的原因有什么不同？其大小与哪些因素有关？

答：线圈中的感应电动势 e 是由于与线圈相链的磁链 ψ 随时间 t 变化而产生的。线圈中磁链的变化有两个原因：一是磁通大小随时间 t 变化(线圈相对磁场静止)，由此产生的电动势称为变压器电动势；二是磁通本身不随时间 t 变化，但线圈与磁场间有相对运动，从而引起磁链 ψ 随时间 t 变化，由此在线圈中产生的电动势称为运动电动势。

用数学式表示时，设 e 与 ψ 的参考方向满足右手螺旋定则， $\psi = f(i, x)$ (i 为电流， x 为位移)，则

$$e = - \frac{d\psi}{dt} = - \frac{\partial \psi}{\partial i} \frac{di}{dt} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{dx}{dt} = e_T + e_R$$

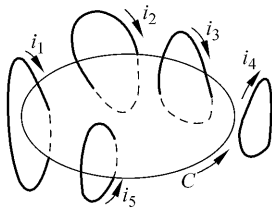


图 0-1

式中, $e_T = -\frac{\partial \psi}{\partial i} \frac{di}{dt}$, 是变压器电动势; $e_R = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{dx}{dt} = -v \frac{\partial \psi}{\partial x}$ (v 为线速度), 是运动电动势。

运动电动势可形象地看成导体在均匀磁场中运动而“切割”磁感应线时产生的电动势。当一根长度为 l 的导体在磁通密度 B 大小恒定的均匀磁场中以既垂直于自身长度又垂直于 B 的线速度 v 运动时, 导体中的感应电动势为

$$e = e_R = -v \frac{d\psi}{dx} = -v \frac{-Bl dx}{dx} = Blv$$

式中, $d\psi = -Bl dx$, 表示导体与导线构成的回路中磁链的减少量。 e_R 的瞬时实际方向可用右手定则来判断。

线圈中产生的变压器电动势的大小取决于线圈磁通量的变化率, 在线性情况下取决于线圈电感和电流变化率(线圈电感又取决于线圈匝数和磁路的磁导)。导体中产生的运动电动势的大小与磁场磁通密度大小、导体的运动速度及长度有关。

0-4-4 如图 0-2 所示, 匝数为 N 的线圈与时变的磁通 ϕ 交链。若规定感应电动势 e 和 ϕ 的参考方向分别如图 0-2(a)、(b) 所示, 试分别写出(a)、(b)两种情况下 e 与 ϕ 之间关系的表达式。

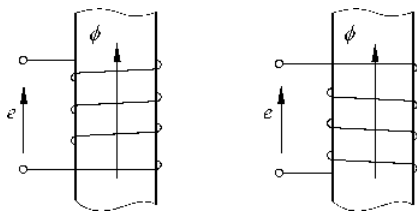


图 0-2

答: 图(a)中, e 与 ϕ 的参考方向满足右手螺旋定则, 因此, $e = -N \frac{d\phi}{dt}$ 。

图(b)中, e 与 ϕ 的参考方向不满足右手螺旋定则, 因此, $e = N \frac{d\phi}{dt}$ 。

0-4-5 起始磁化曲线、磁滞回线和基本磁化曲线是如何形成的? 它们有哪些差别?

答: 参见教材 0.4.3 节。

0-4-6 磁滞损耗和涡流损耗是如何产生的? 它们的大小与哪些因素有关?

答: 参见教材 0.4.3 节。

0-4-7 什么是磁路的基尔霍夫定律? 什么是磁路的欧姆定律? 磁阻和磁导与哪些因素有关?

答: 磁路的基尔霍夫定律和欧姆定律参见教材 0.4.4 节。磁阻和磁导与磁路的磁导率、长度和截面积有关, 其中磁导率取决于磁路的饱和程度, 即磁通密度的大小。

0-4-8 两个铁心线圈, 它们的铁心材料、线圈匝数均相同。若二者的磁路平均长度相等, 但截面积不相等, 当两个线圈中通入相等的直流电流时, 哪个铁心中的磁通和磁通密度值较大? 若二者的截面积相等, 但磁路平均长度不等, 则当两个铁心中的磁通量相同时, 哪个线圈中的直流电流较大?

答: (1) 已知作用于磁路上的磁动势, 求它产生的磁通, 这属于磁路分析计算中的逆问题。根据磁路欧姆定律 $\Phi = F/\Delta$, 两个线圈的直流电流相同即磁动势 F 相同时, 产生的磁通 Φ 的大小取决于铁心磁路磁导 Δ 的大小。由于 $\Delta = \mu_{Fe} A/l$ (l 为磁路平均长度, A 为磁路截面积), l 相同, 因此, 当磁路线性即 μ_{Fe} 为常数时, $\Delta \propto A$, 则 $\Phi \propto \Delta \propto A$, $B = \Phi/A$ 为

常数,即:截面积较大的铁心中的磁通较大,但两个铁心的磁通密度相同。当磁路饱和时,该问题需要通过迭代求解。

(2) 已知磁路中的磁通,求产生它所需的磁动势或电流,这属于磁路分析计算中的正问题。由于铁心的磁通 Φ 和截面积 A 相等,因此,两个铁心磁路的饱和程度相同,即磁导率 μ_{Fe} 相等。于是,平均长度较大的磁路的磁导较小,产生一定的磁通所需的磁动势较大,即其线圈中的直流电流较大。

0-4-9 如图 0-3 所示的圆环铁心磁路,环的平均半径 $r=100\text{mm}$,截面积 $A=200\text{mm}^2$,绕在环上的线圈匝数 $N=350$ 。圆环材料为铸钢,其磁化曲线数据如表 0-1 所示,不计漏磁通。

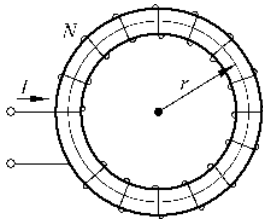


图 0-3

(1) 当圆环内磁通密度 B 分别为 0.8T 和 1.6T 时,磁路的磁通分别是多少? 两种情况下磁路的磁导和所需的励磁电流 I 分别相差了多少倍?

(2) 若要求磁通为 $0.2 \times 10^{-3}\text{Wb}$,励磁电流 I 不大于 1.5A ,则线圈匝数 N 至少应是多少?

表 0-1 铸钢的磁化曲线数据

$H/\text{A} \cdot \text{cm}^{-1}$	5	10	15	20	30	40	50	60	80	110
B/T	0.65	1.06	1.27	1.37	1.48	1.55	1.60	1.64	1.72	1.78

解: (1) 因磁通 $\Phi=BA$,所以当 $B_1=0.8\text{T}$ 时,
$$\Phi_1 = 0.8 \times 200 \times 10^{-6} = 0.16 \times 10^{-3}\text{Wb}$$

当 $B_2=1.6\text{T}$ 时,

$$\Phi_2 = 1.6 \times 200 \times 10^{-6} = 0.32 \times 10^{-3}\text{Wb}$$

已知铁心磁路的长度和截面积,欲求磁导 Λ ,需求出磁导率 μ 。由于 $\mu=B/H$,因此需通过表 1 的磁化曲线求得 μ 。求出 Λ 后,利用 $NI \cdot \Lambda=\Phi$,可求得励磁电流 I 。

当 $B_1=0.8\text{T}$ 时,查表(利用线性插值)得

$$H_1 = 5 + \frac{10 - 5}{1.06 - 0.65} \times (0.8 - 0.65) = 6.829\text{A/cm}$$

则有

$$\mu_1 = \frac{B_1}{H_1} = \frac{0.8}{6.829 \times 10^2} = 0.1171 \times 10^{-2}\text{H/m}$$

$$\Lambda_1 = \mu_1 \frac{A}{l} = \mu_1 \frac{A}{2\pi r} = 0.1171 \times 10^{-2} \times \frac{200 \times 10^{-6}}{2\pi \times 100 \times 10^{-3}} = 0.3727 \times 10^{-6}\text{H}$$

$$I_1 = \frac{\Phi_1}{N\Lambda_1} = \frac{0.16 \times 10^{-3}}{350 \times 0.3727 \times 10^{-6}} = 1.227\text{A}$$

当 $B_2=1.6\text{T}$ 时,查表得 $H_2=50\text{A/cm}$,则

$$\mu_2 = \frac{B_2}{H_2} = \frac{1.6}{50 \times 10^2} = 0.32 \times 10^{-3}\text{H/m}$$

$$\Lambda_2 = \mu_2 \frac{A}{2\pi r} = 0.32 \times 10^{-3} \times \frac{200 \times 10^{-6}}{2\pi \times 100 \times 10^{-3}} = 0.1019 \times 10^{-6}\text{H}$$

$$I_2 = \frac{\Phi_2}{N\Lambda_2} = \frac{0.32 \times 10^{-3}}{350 \times 0.1019 \times 10^{-6}} = 8.972 \text{ A}$$

可见,后一种情况下的磁导、电流分别是前一种情况下的 0.2734 倍和 7.312 倍。

(2) 若要求磁通 $\Phi_3 = 0.2 \times 10^{-3} \text{ Wb}$, 则 $B_3 = \frac{\Phi_3}{A} = \frac{0.2 \times 10^{-3}}{200 \times 10^{-6}} = 1 \text{ T}$ 。查表得

$$H_3 = 5 + \frac{10 - 5}{1.06 - 0.65} \times (1 - 0.65) = 9.268 \text{ A/cm}$$

则有

$$\mu_3 = \frac{B_3}{H_3} = \frac{1}{9.268 \times 10^2} = 0.1079 \times 10^{-2} \text{ H/m}$$

$$\Lambda_3 = \mu_3 \frac{A}{2\pi r} = 0.1079 \times 10^{-2} \times \frac{200 \times 10^{-6}}{2\pi \times 100 \times 10^{-3}} = 0.3435 \times 10^{-6} \text{ H}$$

$$F_3 = \frac{\Phi_3}{\Lambda_3} = \frac{0.2 \times 10^{-3}}{0.3435 \times 10^{-6}} = 582.2 \text{ A}$$

要求 $I \leq 1.5 \text{ A}$, 则线圈匝数应为 $N \geq \frac{F_3}{1.5} = \frac{582.2}{1.5} = 388.2$, 所以 N 至少应为 389。

0-4-10 如图 0-4 所示的含有气隙的分支铁心磁路, 各段铁心磁路的材料相同, 各段磁路的平均长度和截面积如图中所示。不计漏磁通, 若已知气隙磁通 Φ_3 、 N_1 、 N_2 和直流电流 i_1 , 则应如何求得直流电流 i_2 ?

答: 求解步骤为 (设铁心的正常磁化曲线已知):

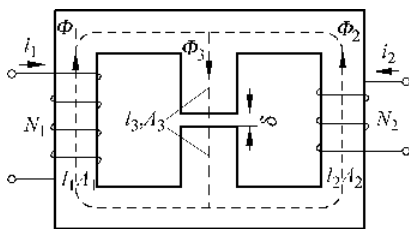


图 0-4

(1) 将磁路分成 4 段: 左侧铁心段、右侧铁心段、中间铁心段(上下两部分)和气隙段, 确定各段的截面积和平均长度, 并规定各段磁通的参考方向(如图 0-4 所示)。

(2) 由已知的 Φ_3 , 求出中间铁心段的平均磁通密度 $B_3 = \Phi_3 / A_3$; 由 B_3 查磁化曲线, 得该段磁路的平均磁场强度 H_3 ; 再求出气隙段的磁通密度 $B_\delta = \Phi_3 / A_3 = B_3$ (忽略边缘效应) 和平均磁场强度 $H_\delta = B_\delta / \mu_0$ 。

(3) 对于左侧铁心回路, 应用安培环路定律, 由已知的 $F_1 = N_1 i_1$ 和中间铁心段及气隙段的磁位差 ($H_3 l_3 + H_\delta \delta$), 求出左侧铁心段的平均磁场强度 H_1 ; 查磁化曲线得该段磁路的平均磁通密度 B_1 , 求得该段的磁通 $\Phi_1 = B_1 A_1$ 。

(4) 应用磁路的基尔霍夫第一定律, 由 Φ_1 和 Φ_3 求得右侧铁心段的磁通 Φ_2 。

(5) 求出右侧铁心段的平均磁通密度 $B_2 = \Phi_2 / A_2$; 由 B_2 查磁化曲线, 得该段磁路的平均磁场强度 H_2 和磁位差 $H_2 l_2$ 。

(6) 对于右侧铁心回路, 应用安培环路定律, 由已知的 $H_2 l_2$ 和 ($H_3 l_3 + H_\delta \delta$), 求出线圈 2 应产生的磁动势 $F_2 = N_2 i_2$, 则得 $i_2 = F_2 / N_2$ 。

第 1 篇 变 压 器

第 1 章 变压器的用途、分类、基本结构和额定值

1.1 知 识 结 构

1.1.1 主要知识点

1. 变压器的基本功能、基本结构和变压原理

- ① 变压器用于对交流电的电压(或电流)进行变换。
- ② 变压器由铁心(磁路部分)和绕在其上的高、低压绕组(电路部分)构成。
- ③ 电磁感应定律是变压器实现这种变换和传递电功率的理论基础。具有不同匝数的一、二次绕组通过铁心中交变的磁通产生耦合,实现对同频率交流电压的变换。

2. 变压器的主要额定值

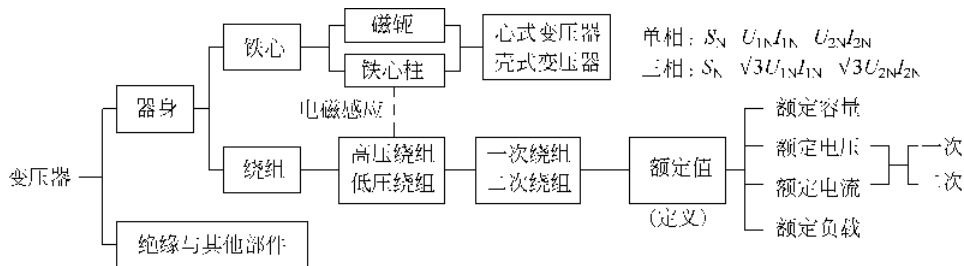
变压器的主要额定值包括:额定容量,一、二次额定电压,一、二次额定电流及额定频率等。

3. 变压器的主要用途与分类

详见教材。

1.1.2 知识关联图

双绕组变压器的基本结构和额定值



1.2 重点与难点

变压器的额定值

需要特别注意三相变压器的情况。额定容量 S_N 是指三相绕组(一次侧或二次侧)总容量;一、二次侧的额定电压和额定电流都是指“线”值,而不是一相的值。但在以后计算中,经常需要计算一相的情况,此时,应使用一相额定容量($S_N/3$),并根据三相绕组的联结方式(星形或三角形联结)求出其额定相电压和额定相电流。

应注意二次额定电压的定义,它是一次绕组外施额定频率的额定电压时二次绕组的开路电压。还应明确负载和额定负载的含义。当变压器一次绕组接到额定频率、额定电压的交流电网上,二次电流 I_2 达到其额定值 I_{2N} 时,变压器所带的负载称为额定负载。此时,一次电流 I_1 也等于其额定值 I_{1N} ,变压器为额定运行,也称满载。也就是说,变压器负载的大小是以负载电流大小来衡量的。负载运行时,二次侧的负载阻抗值越小,负载电流就越大,即负载越大。

1.3 练习题解答

1-1-1 电力变压器的主要用途有哪些?为什么电力系统中变压器的安装容量比发电机的安装容量大?

答: 电力变压器按其用途主要分为升压变压器、降压变压器、配电变压器和联络变压器等。由于发电机发出的交流电能需要经过变压器升压、降压和配电后才能输送到用户,因此电力系统中变压器的安装容量是发电机安装容量的几倍。

1-1-2 容量为 S 的交流电能,采用 220kV 输电电压输送时,输电线的截面积为 A 。如果采用 1kV 电压输送,输电线的电流密度(单位面积上通过的电流大小)不变,则输电线截面积应为多大?若输电线的截面积已经固定,两种电压下输电线上的损耗一样大吗?

答: 在输送的电能容量一定时,输电电流与输电电压的大小成反比。在输电线的电流密度一定的条件下,输电线截面积与输电电流大小成正比。因此,改用 1kV 电压时,输电线截面积应为 220A。如果输电线的截面积已经固定,则在一定的输电距离下,输电线的电阻是一定的,因此输电线的损耗与输电电流的平方成正比。显然,在输送同样容量的情况下,采用 1kV 电压时的线路损耗要远远大于采用 220kV 时的损耗。也就是说,对于一定容量的电能,采用高压输电时,输电线截面积较小,线路损耗也较小。或者说,输电线电流大小一定时,采用高压输电时能够输送的容量较大。

1-2-1 变压器的核心部件有哪些?各部件的功能是什么?

答: 变压器的核心部件是铁心和绕组,二者统称为器身。导磁性能良好的闭合铁心构成了变压器的磁路部分,套在铁心上的绕组构成了变压器的电路部分。一、二次绕组通过铁心磁路相耦合,从而可以利用电磁感应作用来实现对交流电能的变换。

1-2-2 说明下列概念:一次绕组、二次绕组、高压绕组、低压绕组、心式变压器、壳式变压器、铁心柱、磁轭。

答：以上概念参见教材 1.2 节。

1-2-3 电力变压器的铁心为什么要用涂绝缘漆的薄硅钢片叠成？为什么用软磁材料而不用硬磁材料？

答：变压器铁心中交变的磁通会在铁心中引起涡流损耗和磁滞损耗，即铁耗。磁滞损耗与磁滞回线的面积成正比。像硅钢这样的软磁材料，矫顽力和剩磁都很小，即磁滞回线面积比硬磁材料的小得多，因此磁滞损耗很小。涡流损耗与垂直于磁场方向上材料厚度的平方成正比，与材料的电阻率成反比。硅钢中含有适量的硅，电阻率较高，再制成薄片形状的硅钢片并涂以绝缘漆，就可以有效地减小涡流损耗。总之，为了减小铁耗、提高效率，变压器铁心应采用涂绝缘漆的薄硅钢片叠成。

1-3-1 变压器的主要额定值有哪些？一台单相变压器的一、二次额定电压为 220V/110V，额定频率为 50Hz，试说明其意义。若这台变压器的一次额定电流为 4.55A，则二次额定电流是多大？在什么情况下称其运行在额定工况？

答：变压器的主要额定值有：额定容量 S_N （单位 V·A 或 kV·A），一、二次额定电压 U_{1N} 、 U_{2N} （单位 V 或 kV），一、二次额定电流 I_{1N} 、 I_{2N} （单位 A），额定频率 f_N （单位 Hz）。

一台单相变压器的一、二次额定电压为 220V/110V，额定频率为 50Hz，这说明：（1）该变压器应接在 50Hz 的交流电源（电网）上运行；（2）若高压绕组接到 220V 电源上，则低压绕组空载电压为 110V，是降压变压器；反之，若低压绕组接到 110V 电源上，则高压绕组空载电压为 220V，是升压变压器。

该变压器的变比 $k = U_{1N}/U_{2N} = 220/110 = 2$ ，因此，若一次额定电流 $I_{1N} = 4.55\text{A}$ ，则二次额定电流为 $I_{2N} = kI_{1N} = 2 \times 4.55 = 9.1\text{A}$ 。当该变压器带负载运行，使高压绕组电流为其额定值 4.55A、低压绕组电流为其额定值 9.1A 时，称其运行在额定工况。

1.4 思考题解答

1-1 变压器的主要功能是什么？它是通过什么作用来实现其功能的？

答：变压器的主要功能是改变交流电能的电压，即升压或降压。它是通过电磁感应作用来实现其功能的。位于同一铁心柱上的一、二次绕组，与同一交变的主磁通相匝链，在两个绕组中产生的感应电动势与其匝数成正比。

1-2 变压器能否用来直接改变直流电压的等级？

答：变压器是利用电磁感应作用来实现其变压功能的。如果一次绕组施加一定的直流电压，则绕组中产生大小不变的直流电流，产生大小不变的直流磁动势，在铁心磁路中产生恒定不变的磁通，这样，一、二次绕组中就无法感应产生电动势，即二次绕组输出电压为零。所以，变压器不能直接改变直流电压的等级。

1-3 变压器铁心为什么要做成闭合的？如果在变压器铁心磁回路中出现较大的间隙，会对变压器有什么影响？

答：如果变压器铁心磁回路中出现间隙（空气隙或变压器油等非铁磁材料），则与铁心为闭合时相比，主磁通所经过的铁心磁回路的磁导减小。根据磁路欧姆定律，磁路中的

磁通大小一定时,磁导小(即磁阻大)则所需励磁磁动势大。铁心磁回路中出现间隙,会使磁路的磁导大幅减小。因此,要产生同样大小的主磁通,有间隙时所需的励磁磁动势和相应的励磁电流就比铁心闭合时的要增大很多。励磁电流大,会使变压器的功率因数降低,运行性能变差。所以,为了减小励磁电流,变压器铁心都要做成闭合的。

1.5 习题解答

1-1 一台三相变压器,额定电压 $U_{1N}/U_{2N} = 10\text{kV}/3.15\text{kV}$,额定电流 $I_{1N}/I_{2N} = 57.74\text{A}/183.3\text{A}$,求该变压器的额定容量。

解: 额定容量

$$S_N = \sqrt{3}U_{1N}I_{1N} = \sqrt{3} \times 10 \times 57.74 = 1000\text{kV} \cdot \text{A}$$

或

$$S_N = \sqrt{3}U_{2N}I_{2N} = \sqrt{3} \times 3.15 \times 183.3 = 1000\text{kV} \cdot \text{A}$$

提示: 变压器的一、二次额定容量相等。三相变压器的额定容量 S_N 是指三相总容量。三相变压器的额定电压、额定电流均是指线值。

1-2 一台三相降压变压器的额定容量 $S_N = 3200\text{kV} \cdot \text{A}$,额定电压 $U_{1N}/U_{2N} = 35\text{kV}/10.5\text{kV}$,一、二次绕组分别为星形、三角形联结,求:

- (1) 该变压器一、二次侧的额定线电压、额定相电压以及额定线电流、额定相电流;
- (2) 若负载的功率因数为 0.85(滞后),则该变压器额定运行时能带多少有功负载,发出的无功功率又是多少(忽略负载运行时二次电压的变化)?

解: (1) 一次侧的额定线电压就是一次额定电压,即 $U_{1N} = 35\text{kV}$ 。

由于一次绕组为星形联结,因此一次侧的额定相电压为(下标 ϕ 表示“相”,下同)

$$U_{1N\phi} = \frac{U_{1N}}{\sqrt{3}} = \frac{35}{\sqrt{3}} = 20.21\text{kV}$$

一次侧的额定线电流和相电流为

$$I_{1N} = I_{1N\phi} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{1N}} = \frac{3200}{\sqrt{3} \times 35} = 52.79\text{A}$$

二次侧的额定线电压就是二次额定电压,即 $U_{2N} = 10.5\text{kV}$ 。

由于二次绕组为三角形联结,因此二次侧额定相电压 $U_{2N\phi} = U_{2N} = 10.5\text{kV}$ 。二次侧的额定线电流为

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}} = \frac{3200}{\sqrt{3} \times 10.5} = 176\text{A}$$

二次侧额定相电流为

$$I_{2N\phi} = \frac{I_{2N}}{\sqrt{3}} = \frac{176}{\sqrt{3}} = 101.6\text{A}$$